

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-231604

(43)Date of publication of application : 16.08.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G01B 11/26

G03F 9/00

(21)Application number : 2001-022452

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 30.01.2001

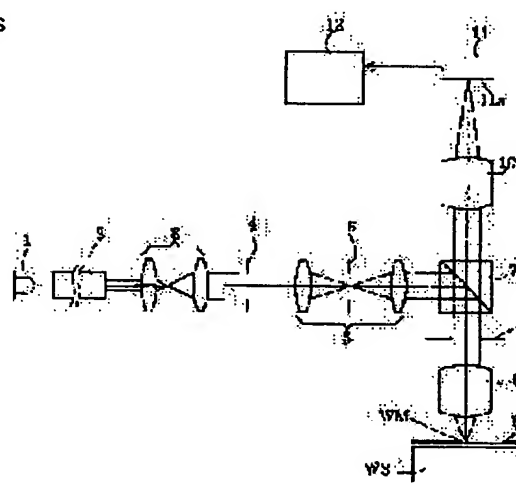
(72)Inventor : KOMATSU KOICHIRO

## (54) POSITION DETECTOR AND ITS ADJUSTING METHOD

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method adjusting a position detector by which the telecentricity of a lighting luminous flux can be adjusted with high accuracy, and in its turn, the position detector can make high-accuracy positional detection.

**SOLUTION:** Diffraction grating like first and second adjustment marks provided in parallel on an object (W) to be inspected are set, so that the marks are within the same detecting visual field. Relative deviations between the images of the first adjustment marks and those of the second adjustment marks are detected, in a state where the marks are defocused from an image-forming optical system (8-10). Based on the relation between the detected relative deviations and defocused amounts, the inclination of the lighting luminous flux emitted from a lighting system (1-8) is detected. According to the inclination of the luminous flux, the telecentricity of the luminous flux is adjusted.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-231604

(P2002-231604A)

(43) 公開日 平成14年8月16日 (2002.8.16)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード (参考)
H 0 1 L 21/027		G 0 1 B 11/26	G 2 F 0 6 5
G 0 1 B 11/26		G 0 3 F 9/00	H 5 F 0 4 6
G 0 3 F 9/00		H 0 1 L 21/30	5 2 5 W

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-22452(P2001-22452)

(22) 出願日 平成13年1月30日 (2001.1.30)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 小松 宏一郎

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

Fターム (参考) 2F065 AA35 BB28 CC17 FF04 FF48

GG03 JJ26 LL02 LL30 LL59

QQ28 UU09

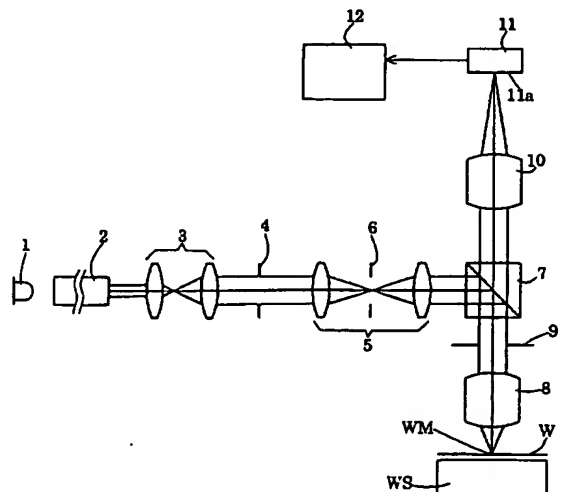
5F046 EA07 FC04

(54) 【発明の名称】 位置検出装置およびその調整方法

(57) 【要約】

【課題】 照明光束のテレセントリシティの調整を高精度に行うことができ、ひいては高精度な位置検出を行うことのできる位置検出装置の調整方法。

【解決手段】 被検物体 (W) 上に並列的に設けられた回折格子状の第1調整用マークと第2調整用マークとが同一の検出視野内に入るように設定する。結像光学系 (8~10) に対してデフォーカスさせた状態で、第1調整用マークの像と第2調整用マークの像との間の相対ずれ量を検出する。検出した相対ずれ量とデフォーカス量との関係に基づいて、照明系 (1~8) による照明光束の傾きを検出する。検出した照明光束の傾きに応じて、照明テレセントリシティを調整する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 被検物体上に設けられたマークを照明するための照明系と、照明された前記マークからの光に基づいて前記マークの像を形成するための結像光学系とを備え、前記マークの像に基づいて前記マークの位置を検出する位置検出装置の調整方法において、

前記被検物体上に並列的に設けられた回折格子状の第1調整用マークと第2調整用マークとが同一の検出視野内に入るように設定し、

前記第1調整用マークと前記第2調整用マークとを前記結像光学系に対してデフォーカスさせた状態で、前記第1調整用マークの像と前記第2調整用マークの像との間の相対ずれ量を検出し、

検出した相対ずれ量と前記デフォーカス量との関係に基づいて前記照明系による照明光束の傾きを検出し、検出した照明光束の傾きに応じて前記照明系を調整することを特徴とする調整方法。

【請求項2】 前記第1調整用マークは、第1のピッチP1を有する第1明暗パターンで形成され、前記第2調整用マークは、前記第1のピッチP1とは実質的に異なる第2のピッチP2を有する第2明暗パターンで形成されていることを特徴とする請求項1に記載の調整方法。

【請求項3】 前記第1のピッチP1および前記第2のピッチP2は、照明光の波長を $\lambda$ とし、前記結像光学系の瞳面での照明光束の半径を前記結像光学系中の対物レンズの焦点距離で割った値を $s$ とし、前記結像光学系の物体開口数を $u$ とし、 $n$ を整数としたとき、

$$(u+s)/(n+1) < \lambda/P1 < (u-s)/n$$

$$(u-s)/n < \lambda/P2 < (u+s)/n$$

の条件を満足することを特徴とする請求項2に記載の調整方法。

【請求項4】 前記第1調整用マークおよび前記第2調整用マークは、明部の幅と暗部の幅とがほぼ等しく設定され、

前記第1のピッチP1は、前記波長 $\lambda$ を前記結像光学系の物体開口数 $u$ で割った値 $\lambda/u$ のほぼ偶数倍に設定され、

前記第2のピッチP2は、前記波長 $\lambda$ を前記結像光学系の物体側開口数 $u$ で割った値 $\lambda/u$ のほぼ奇数倍に設定されていることを特徴とする請求項3に記載の調整方法。

【請求項5】 前記第1調整用マークは、第1の段差を有する第1段差パターンで形成され、

前記第2調整用マークは、前記第1段差パターンと同じピッチを有し且つ前記第1の段差とは実質的に異なる第2の段差を有する第2段差パターンで形成されていることを特徴とする請求項1に記載の調整方法。

【請求項6】 前記第1調整用マークおよび前記第2調整用マークは、ライン部の幅とスペース部の幅とがほぼ

等しく設定され、

前記第1の段差は照明光の波長 $\lambda$ の1/4のほぼ偶数倍に設定され、

前記第2の段差は照明光の波長 $\lambda$ の1/4のほぼ奇数倍に設定されていることを特徴とする請求項5に記載の調整方法。

【請求項7】 前記第1段差パターンおよび前記第2段差パターンのピッチPは、照明光の波長を $\lambda$ とし、前記結像光学系の瞳面での照明光束の半径を前記結像光学系中の対物レンズの焦点距離で割った値を $s$ とし、前記結像光学系の物体開口数を $u$ とし、 $n$ および $m$ を整数としたとき、

$$(u+s)/n < \lambda/P < (u-s)/m$$

の条件を満足することを特徴とする請求項6に記載の調整方法。

【請求項8】 被検物体上に設けられたマークを照明するための照明系と、照明された前記マークからの光に基づいて前記マークの像を形成するための結像光学系とを備え、前記マークの像に基づいて前記マークの位置を検出する位置検出装置の検出方法において、

前記被検物体上に並列的に設けられた回折格子状の第1調整用マークと第2調整用マークとが同一の検出視野内に入るように設定し、

前記第1調整用マークと前記第2調整用マークとを前記結像光学系に対してデフォーカスさせた状態で、前記第1調整用マークの像と前記第2調整用マークの像との間の相対ずれ量を検出し、

検出した相対ずれ量と前記デフォーカス量との関係に基づいて前記照明系による照明光束の傾きを検出することを特徴とする検出方法。

【請求項9】 被検物体上に設けられたマークを照明するための照明系と、照明された前記マークからの光に基づいて前記マークの像を形成するための結像光学系とを備え、前記マークの像に基づいて前記マークの位置を検出する位置検出装置において、

同一の検出視野内に入るように前記被検物体上に並列的に設けられた回折格子状の第1調整用マークと第2調整用マークとを前記結像光学系に対してデフォーカスさせたときのデフォーカス量と前記第1調整用マークの像と前記第2調整用マークの像との間の相対ずれ量とに基づいて、前記照明系による照明光束の傾きを検出するための傾き検出部を備えていることを特徴とする位置検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、位置検出装置およびその調整方法に関し、特に半導体素子や液晶表示素子等を製造するリソグラフィ工程で用いる露光装置に搭載される位置検出装置（重ね合わせ検査装置を含む）の調整方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】半導体素子や液晶表示素子の製造に際して、レジストが塗布された基板上に露光装置を用いてパターンを焼き付け、現像処理により不要なレジストを除去する。そして、エッチングや蒸着などの加工工程により、所定の性質を有するパターン層を形成する。こうして、上述の処理を数回から数十回ほど繰り返すことにより、半導体素子や液晶表示素子が製造される。

【0003】近年、半導体素子や液晶表示素子では、パターンの微細化が進み、その形成位置に対する許容度が小さくなってきている。このため、露光装置でパターンを焼き付ける際に以前の工程で焼き付けられたパターンの位置を検出するための位置検出装置のパターン検出精度が厳しくなっている。同様に、以前の工程で焼き付けられたパターンに対して今回のパターンが正しく焼き付けられたことを検査するための重ね合わせ検査装置のパターン検出精度も厳しくなっている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、半導体素子や液晶表示素子の位置合わせマークや重ね合わせ検査用マークは、段差状のパターンで形成されている。この場合、これらのマークを検出する際に、照明系による照明光束のテレセントリシティの調整状態が正しくないと、段差状のパターンに対して照明光が斜めから照射されることになる。その結果、段差パターンの段差によって影のでき方が異なるため、パターン像の位置検出（ひいてはマークの位置検出）に誤差が生じてしまう。

【0005】そこで、従来技術では、パターン像の光電検出により得られる信号波形を参照して、照明光束のテレセントリシティを調整している。このように、従来技術では、照明光の傾きを定量的に把握して照明系を調整しているわけではないので、照明光束のテレセントリシティの調整が十分でなく、高精度な位置検出を行うことができなかった。

【0006】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、照明光束のテレセントリシティの調整を高精度に行うことができ、ひいては高精度な位置検出を行うことのできる位置検出装置およびその調整方法を提供することを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明では、被検物体上に設けられたマークを照明するための照明系と、照明された前記マークからの光に基づいて前記マークの像を形成するための結像光学系とを備え、前記マークの像に基づいて前記マークの位置を検出する位置検出装置の調整方法において、前記被検物体上に並列的に設けられた回折格子状の第1調整用マークと第2調整用マークとが同一の検出視野内に入るように設定し、前記第1調整用マークと前記第2調整用マークとを前記結像光学系に対してデフォーカスさせた状態

で、前記第1調整用マークの像と前記第2調整用マークの像との間の相対ずれ量を検出し、検出した相対ずれ量と前記デフォーカス量との関係に基づいて前記照明系による照明光束の傾きを検出し、検出した照明光束の傾きに応じて前記照明系を調整することを特徴とする調整方法を提供する。

【0008】本発明の好ましい態様によれば、前記第1調整用マークは、第1のピッチP1を有する第1明暗パターンで形成され、前記第2調整用マークは、前記第1のピッチP1とは実質的に異なる第2のピッチP2を有する第2明暗パターンで形成されている。あるいは、前記第1調整用マークは、第1の段差を有する第1段差パターンで形成され、前記第2調整用マークは、前記第1段差パターンと同じピッチを有し且つ前記第1の段差とは実質的に異なる第2の段差を有する第2段差パターンで形成されていることが好ましい。

【0009】また、本発明の別の局面によれば、被検物体上に設けられたマークを照明するための照明系と、照明された前記マークからの光に基づいて前記マークの像を形成するための結像光学系とを備え、前記マークの像に基づいて前記マークの位置を検出する位置検出装置において、同一の検出視野内に入るように前記被検物体上に並列的に設けられた回折格子状の第1調整用マークと第2調整用マークとを前記結像光学系に対してデフォーカスさせたときのデフォーカス量と前記第1調整用マークの像と前記第2調整用マークの像との間の相対ずれ量とに基づいて、前記照明系による照明光束の傾きを検出するための傾き検出部を備えていることを特徴とする位置検出装置を提供する。

## 【0010】

【発明の実施の形態】本発明では、被検物体上に並列的に設けられた回折格子状の第1調整用マークと第2調整用マークとが同一の検出視野（結像光学系または撮像素子で規定される検出視野）内に入るように、被検物体を位置検出装置の結像光学系に対して位置決めする。次に、結像光学系に対して被検物体をデフォーカスさせた状態で、すなわち第1調整用マークと第2調整用マークとを結像光学系に対してデフォーカスさせた状態で、第1調整用マークの像と第2調整用マークの像との間の相対ずれ量を検出する。

【0011】こうして、得られた相対ずれ量とデフォーカス量との関係に基づいて照明光束の傾きを検出し、検出した照明光束の傾きに応じて照明系を調整することができる。具体的には、たとえば照明系中の開口絞りを光軸に直交する面に沿って、照明光束の傾きに応じた所定距離だけ微動させることにより、照明光束のテレセントリシティを調整することができる。

【0012】以上のように、本発明では、一対の調整用マークが同一の検出視野内に入るように設定し、結像光学系に対してデフォーカスさせた状態で一対の調整用マ

5

ーク像の相対ずれ量を検出し、検出した相対ずれ量とデフォーカス量との関係に基づいて照明光束の傾きを検出する。ここで、一対の調整用マークとして、照明光束の傾きおよびデフォーカスに対して敏感な調整用マークと鈍感な調整用マークとを用いることができる。

【0013】また、位置検出装置は、被検物体上に設けられたマークの位置を高精度に検出するように構成されており、非常に高い検出精度を有する信号処理系を備えている。したがって、本発明では、デフォーカス操作に際して被検物体の移動誤差などの影響を受けることなく、照明光束の傾きを高精度に検出することができる。その結果、照明光束のテレセントリシティの調整を高精度に行うことができ、ひいては高精度な位置検出を行うことができる。

【0014】本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる位置検出装置の構成を概略的に示す図である。本実施形態では、露光装置に搭載された位置検出装置の調整方法に本発明を適用している。図示の位置検出装置は、波長帯域幅の広い照明光（たとえば530nm〜800nm）を供給するための光源1を備えている。光源1として、ハロゲンランプのような光源を使用することができる。

【0015】光源1から供給された照明光は、リレー光学系（不図示）を介して、光ファイバーのようなライトガイド2の入射端に入射する。ライトガイド2の内部を伝搬してその射出端から射出された照明光は、第1照明リレーレンズ系3を介して、たとえば円形状の開口部（光透過部）を有する照明開口絞り4を照明する。照明開口絞り4を介して制限された照明光は、第2照明リレーレンズ系5を介して、ハーフプリズム7に入射する。なお、第2照明リレーレンズ系5の光路中には、照明視野絞り6が配置されている。

【0016】ハーフプリズム7で反射された照明光は、対物レンズ8を介して、ウェハW上に設けられたウェハマーク（位置合わせマーク）WMを照明する。ここで、ウェハWは、図中水平面内および鉛直方向に移動可能なウェハステージWS上に保持されている。このように、光源1、ライトガイド2、第1照明リレーレンズ系3、照明開口絞り4、第2照明リレーレンズ系5、照明視野絞り6、ハーフプリズム7、および対物レンズ8は、被検物体であるウェハW上に設けられたウェハマークWMを照明するための照明系を構成している。

【0017】照明光に対するウェハマークWMからの反射光（回折光を含む）は、対物レンズ8および結像開口絞り9を介して、ハーフプリズム7に入射する。ハーフプリズム7を透過した光は、結像レンズ10を介して、CCDのような撮像素子11の撮像面11a上にウェハマークWMの像を形成する。このように、対物レンズ8、結像開口絞り9、ハーフプリズム7、および結像レンズ10は、照明されたウェハマークWMからの光に基

6

づいてウェハマークWMの像を形成するための結像光学系を構成している。

【0018】CCD11の出力は、信号処理系12に供給される。信号処理系12では、CCD11から供給された画像信号を信号処理（パターンのエッジ検出のような波形処理）することにより、ウェハマークWMの位置情報が得られる。こうして、得られたウェハマークWMの位置情報からパターンが形成された位置を検出し、次の工程で焼き付けるべきパターンを位置を補正して露光を行うことになる。

【0019】なお、照明視野絞り6は、結像光学系に対して合焦状態に設定された（対物レンズ8の前側焦点面に設定された）ウェハWの表面と光学的に共役な位置に配置されている。したがって、照明系によりウェハW上に形成される照明領域は、照明視野絞り6によって規定される。また、照明開口絞り4は、対物レンズ8の瞳面に配置された結像開口絞り9と光学的に共役な位置に配置されている。したがって、照明系による照明光束の中心は結像光学系の光軸に平行となり、いわゆるテレセントリックな照明が行われる。

【0020】本実施形態において調整の対象となるのは、ウェハWを照明する照明光束の中心線のウェハ面の法線（ひいては光軸）に対する傾きの調整、すなわち照明光束のテレセントリシティの調整である。この照明テレセントリシティの調整は、照明系中の照明開口絞り4を光軸と直交する面に沿って微動させることにより行われる。図2は、照明系中の照明開口絞りが光軸から偏心した状態を説明する図である。なお、図2では、図1の光源1、CCD11および信号処理系12の図示を省略している。

【0021】図2に示すように、照明開口絞り4を通過する光束の中心が光軸から $\delta$ だけずれると、第2照明リレーレンズ系5の投影倍率を $\beta$ としたとき、対物レンズ8の瞳面に配置された結像開口絞り9を通過する位置が光軸から $\beta\delta$ だけずれる。その結果、対物レンズ8の焦点距離を $f$ とすると、ウェハWを照明する光束の中心線が光軸に対して $\beta\delta/f$ だけ傾くことになる。このとき、ウェハWからの反射光は照明光の傾きと反対側に傾いて結像光学系に入射するが、ウェハWが結像光学系に対して合焦状態にある場合には、照明開口絞り4が偏心していないときと同じ位置にウェハマーク像が形成される。

【0022】ところで、ピッチPの回折格子パターンに波長 $\lambda$ の光が入射角度 $\theta_i$ で入射するときの $n$ 次回折光の回折角 $\theta_n$ は、次の式（1）で表される。

$$\sin \theta_n = n \lambda / P + \sin \theta_i \quad (1)$$

これらの回折光のうち、対物レンズ8または結像開口絞り9で規定される結像光学系の物体側開口数よりも小さい回折角の光が、結像レンズ10を介してCCD11の撮像面11a上に結像する。

【0023】なお、上述したように、照明開口絞り4が $\delta$ だけ偏心した場合、照明光束の入射角度が $\beta\delta/f$ だけ変化する。したがって、次の式(2)に示すように、\*

$$\sin\theta n' = n\lambda/P + \sin(\theta i - \beta\delta/f) \quad (2)$$

【0024】図3および図4は、ウェハ上に設けられた回折格子パターンが対物レンズの焦点面からわずかに下方にデフォーカスした場合の回折光の様子を示す図である。なお、図3および図4では、照明系の図示を省略し、結像光学系部分だけを示している。また、理解を容易にするために、照明光束をかなり細い光束として表している。

【0025】図3を参照すると、照明光束SHが、結像光学系の光軸に対してわずかに偏心している。そして、対物レンズ8の焦点面8aからわずかに下方にデフォーカスしたウェハW上の回折格子状パターンからの回折光の一部L1、L0、L-1が、対物レンズ8により集光され、結像開口絞り9で遮られる(けられる)ことなく、結像レンズ10へ導かれる。ウェハWからの回折光L1、L0、L-1は、結像レンズ10を介して、CCD11の撮像面11aよりもわずかに手前で結像する。※20

$$n\lambda/P1 + s < u < (n+1)\lambda/P1 - s \quad (3)$$

【0028】ここで、sは、結像光学系の瞳面(結像開口絞り9の位置)での照明光束SHの半径を対物レンズ8の焦点距離fで割った値(以下、「照明開口数」という)である。また、uは、結像光学系の物体側開口数★

$$(u+s)/(n+1) < \lambda/P1 < (u-s)/n \quad (4)$$

【0029】また、回折格子パターンのライン部の幅とスペース部の幅とが等しい場合には、0次を除く偶数次の回折光は互いに打ち消し合うため光量が0になる。したがって、ピッチP1の回折格子パターンからの回折光が結像開口絞り9に遮られるようにするには、偶数次の回折角が結像開口数uに等しくなるように設定してもよい。この場合、回折格子パターンのピッチP1が次の式(5)に示す関係を満たすことになる。

$$P1 = 2n\lambda/u \quad (5)$$

式(5)は、回折格子パターンのピッチP1が、照明光の波長 $\lambda$ を結像開口数uで割った値 $\lambda/u$ の偶数倍であることを意味している。

【0031】一方、図4では、対物レンズ8の焦点面8aからわずかに下方にデフォーカスしたウェハW上の回折格子状パターンからの回折光L1およびL-1が、結像開口絞り9で遮られるように設定されている。この場合、回折光L1およびL-1の外側は結像開口絞り9で制限されるので、結像光束の外側は照明開口絞り4の偏心による影響を受けない。ただし、結像開口絞り9を通過する光束L0は照明開口絞り4の偏心による影響を受けるので、像の中心は位置ずれすることになる。ただし、図5および図6を参照して後述するように、図4の状態における像の位置ずれ量は図3の状態における像の位置ずれ量よりもかなり小さくなる。

\*照明光束の入射角度の変化に応じて、回折角も変化するようになる。

※なお、図3では、対物レンズ8の焦点面8a上の1点に達する照明光束SHを示すとともに、焦点面8aからデフォーカスしたウェハW上の1点から発する回折光束L1、L0、L-1を示している。この点は、以下の図4においても同様である。

10 【0026】したがって、ウェハW上の一点に対応する点像は、撮像面11aで広がって形成される。この点像の広がり(重心を点像の中心と考え、ウェハWのデフォーカス量(対物レンズ8の焦点面とウェハWの表面との間隔) $\Delta$ と照明光束SHの傾き $\beta\delta/f$ との積 $\Delta\beta\delta/f$ だけ、像の中心が位置ずれすることになる。

【0027】ウェハW上に設けられたピッチP1の回折格子パターンからの回折光が結像光学系の開口にけられない(たとえば結像開口絞り9に遮られない)ようにするには、照明光束SHの太さを考慮して次の式(3)が成立する必要がある。

★(以下、「結像開口数」という)である。さらに、nは整数である。式(3)は、次の式(4)のように変形することができる。

【0032】このように、ウェハW上に設けられたピッチP2の回折格子パターンからの回折光が結像開口絞り9に遮られるようにするには、次の式(6)が成立する必要がある。また、式(6)は、次の式(7)のように変形することができる。

$$n\lambda/P2 - s < u < n\lambda/P2 + s \quad (6)$$

$$(u-s)/n < \lambda/P2 < (u+s)/n \quad (7)$$

【0033】前述のように、回折格子パターンのライン部の幅とスペース部の幅とが等しい場合には、0次を除く偶数次の回折光は互いに打ち消し合うため光量が0になる。したがって、ピッチP2の回折格子パターンからの回折光が結像開口絞り9に遮られるには、奇数次の回折角が結像開口数uに等しくなるように設定してもよい。この場合、回折格子パターンのピッチP2が次の式(8)に示す関係を満たすことになる。

$$P2 = (2n-1)\lambda/u \quad (8)$$

式(8)は、回折格子パターンのピッチP2が、照明光の波長 $\lambda$ を結像開口数uで割った値 $\lambda/u$ の奇数倍であることを意味している。

【0035】図5および図6は、回折格子パターンを結像光学系に対してデフォーカスさせたときのパターン像の位置ずれを示す図である。図5および図6において、横軸はデフォーカス量を示し、縦軸はパターン像の位置ずれ量を示している。また、「mrad」は、照明光束

の傾きに対応し、「 $\times 10^{-3}$  rad (ラジアン)」を示している。

【0036】図5では、照明光の波長 $\lambda$ を $0.6\mu\text{m}$ とし、結像開口数 $u$ を $0.6$ とし、照明開口数 $s$ を $0.2$ としている。また、回折格子パターンは、明部の幅および暗部の幅がともに $1\mu\text{m}$ に設定されたピッチ $2\mu\text{m}$ の明暗パターンである。すなわち、図5では、回折格子パターンピッチが照明光の波長 $\lambda$ を結像開口数 $u$ で割った値 $\lambda/u$ の偶数倍（具体的には2倍）に設定されており、図3の設定に対応する計算結果を示している。

【0037】一方、図6では、図5の場合と同様に、照明光の波長 $\lambda$ を $0.6\mu\text{m}$ とし、結像光学系の物体側開口数 $u$ を $0.6$ とし、照明開口数 $s$ を $0.2$ としている。しかしながら、図5の場合とは異なり、回折格子パターンは、明部の幅および暗部の幅がともに $0.5\mu\text{m}$ に設定されたピッチ $1\mu\text{m}$ の明暗パターンである。すなわち、図6では、回折格子パターンピッチが照明光の波長 $\lambda$ を結像開口数 $u$ で割った値 $\lambda/u$ の奇数倍（具体的には1倍）に設定されており、図4の設定に対応する計算結果を示している。

【0038】図5と図6とを比較すると、照明光の波長 $\lambda$ を結像開口数 $u$ で割った値 $\lambda/u$ の偶数倍に設定されたピッチ $P1$ を有する第1回折格子パターンと奇数倍に設定されたピッチ $P2$ を有する第2回折格子パターンとを同じ量だけデフォーカスさせた場合、第1回折格子パターン像の位置ずれ量は比較的大きく、第2回折格子パターン像の位置ずれ量は比較的小さいことがわかる。すなわち、第1回折格子パターンは照明開口絞り4の偏心およびデフォーカスに敏感であり、第2回折格子パターンは照明開口絞り4の偏心およびデフォーカスに鈍感である。

【0039】ところで、各回折格子パターン像の位置ずれ量は、たとえば数nm程度とかなり小さい値である。したがって、各回折格子パターン像の位置ずれ量を個々に検出する場合、ウェハステージWSの移動誤差（特に上下方向の移動誤差）などの影響により位置ずれ量を正確に検出することは困難である。そこで、本実施形態では、照明開口絞り4の偏心およびデフォーカスに敏感なピッチ $P1$ の回折格子パターンと、照明開口絞り4の偏心およびデフォーカスに鈍感なピッチ $P2$ の回折格子パターンとを、同一の検出視野内に入るようにウェハW上に並列的に設けている。

【0040】図7は、本実施形態において照明光束のテレセントリシティの調整に用いられる調整用マークの構成を概略的に示す図である。図7に示すように、調整用マークは、第1のピッチ $P1$ を有する第1明暗パターンで形成された第1調整用マーク21と、第1のピッチ $P1$ とは実質的に異なる第2のピッチ $P2$ を有する第2明暗パターンで形成された第2調整用マーク22とから構成されている。ここで、第1明暗パターンおよび第2明

暗パターンは、暗部（図中斜線で示す）の幅と明部の幅とがほぼ等しく構成されている。また、第1調整用マーク21の中心と第2調整用マーク22の中心とがピッチ方向に一致するように構成されている。

【0041】さらに、第1調整用マーク21のピッチ $P1$ は、照明光の波長 $\lambda$ を結像開口数 $u$ で割った値 $\lambda/u$ の2倍（偶数倍）に設定されている。一方、第2調整用マーク22のピッチ $P2$ は、照明光の波長 $\lambda$ を結像開口数 $u$ で割った値 $\lambda/u$ の1倍（奇数倍）に設定されている。これらの明暗パターンは、たとえばガラスウェハにクロムの薄膜をエッチングすることにより作成することができる。あるいは、シリコンウェハに反射率の異なるパターンを形成することにより作成することができる。

【0042】本実施形態では、ウェハW上に並列的に設けられた第1調整用マーク21と第2調整用マーク22とが同一の検出視野内に入るように、ウェハステージWSを駆動してウェハWを位置検出装置の結像光学系に対して位置決めする。次に、結像光学系に対してウェハWをデフォーカスさせた状態で、すなわち第1調整用マーク21と第2調整用マーク22とを結像光学系に対してデフォーカスさせた状態で、第1調整用マーク21の像と第2調整用マーク22の像との間の相対ずれ量を検出する。ここで、第1調整用マーク21の像と第2調整用マーク22の像との間の相対ずれ量は、たとえば第1調整用マーク21の像のアライメント位置と第2調整用マーク22の像のアライメント位置との間のピッチ方向に沿った距離として検出される。

【0043】こうして、信号処理系12では、得られた相対ずれ量とデフォーカス量との関係に基づいて、照明光束の傾きを検出することができる。したがって、検出した照明光束の傾きに応じて、照明開口絞り4を光軸に直交する面に沿って所定距離だけ微動させることにより、照明光束のテレセントリシティを調整することができる。この場合、手動により照明開口絞り4を移動させても良いし、信号処理系12から指令を受ける適当な駆動系を介して移動させても良い。

【0044】以上のように、本実施形態では、一対の調整用マークが同一の検出視野内に入るように設定し、結像光学系に対してデフォーカスさせた状態で一対の調整用マーク像の相対ずれ量を検出し、検出した相対ずれ量とデフォーカス量との関係に基づいて照明光束の傾きを検出する。ここで、一方の調整用マークは照明光束の傾きおよびデフォーカスに対して比較的大きな位置ずれ量が発生する敏感なマークであり、他方の調整用マークは照明光束の傾きおよびデフォーカスに対して比較的小さな位置ずれ量が発生する鈍感なマークである。

【0045】また、露光装置に搭載された位置検出装置は、ウェハマークの位置を高精度に検出するように構成されており、非常に高い検出精度を有する信号処理系を備えている。したがって、本実施形態では、デフォーカ



ス操作に際してウェハステージの移動誤差などの影響を受けることなく、照明光束の傾きを高精度に検出することができる。その結果、照明光束のテレセントリシティの調整を高精度に行うことができ、ひいては高精度な位置検出を行うことができる。

【0046】上述の実施形態では、ピッチの異なる一対の明暗パターンからなる調整用マークを用いて、照明光束のテレセントリシティを調整している。しかしながら、ピッチが等しく且つ段差の異なる一対の段差パターンからなる調整用マークを用いて、照明光束のテレセントリシティを調整することもできる。以下、段差の異なる一対の段差パターンを用いる変形例について説明する。

$$I_n = 2(1 - \cos \phi) d^2 \sin^2(\pi n d) / (\pi^2 n^2 d^2) \quad (10)$$

【0049】 $m$ 次回折角  $\theta_m$  ( $m$ は整数) が結像開口数  $u$  に一致しているとき、 $m$ 次回折光の強度  $I_m$  が0になるには、 $1 - \cos \phi$  が0になる必要がある。すなわち、位相差  $\phi$  が  $\pi$  の偶数倍になること、ひいては式(9)を参照すると段差  $t$  が波長  $\lambda$  の  $1/4$  の偶数倍になることが必要である。この場合、次数に関わらず回折光は全く発生しないが、パターンエッジの部分で照明光が散乱されるので、この散乱光に基づいてパターンエッジの像を検出することができる。しかしながら、散乱光はほぼ等方的に広がり照明の入射方向に依存しないので、照明光が傾いた状態でウェハWをデフォーカスさせても、パターンエッジ像の位置ずれは起こらない。

【0050】これに対して、 $1 - \cos \phi$  が2のときは、回折光が発生し、パターン像が形成される。回折光の回折角は前述のように照明光の入射角の影響を受けるので、図4に示すように、照明光が傾いた状態でウェハWをデフォーカスさせると、パターン像は敏感に位置ずれする。なお、 $1 - \cos \phi$  が2になるには、位相差  $\phi$  が  $\pi$  の奇数倍になること、ひいては式(9)を参照すると段差  $t$  が波長  $\lambda$  の  $1/4$  の奇数倍になることが必要である。

【0051】このとき、パターンピッチ  $P$  と、結像開口数  $u$  と、照明開口数  $s$  との間には、次の式(11)に示す関係が成立する。

$$m\lambda/P + s < u < (m+1)\lambda/P - s \quad (11)$$

【0052】ところで、図4に示すように、照明開口数  $s$  が結像開口数  $u$  に比して十分に小さい場合には回折光同士が重ならないが、実際の光学系では照明開口数  $s$  が結像開口数  $u$  の0.5倍から0.9倍に設定されることが多い。この場合、一部の回折光が結像光学系の開口でけられたりけられなかったりすると、回折光が結像に関与したりしなかったりする。その結果、ウェハWのデフォーカス量とパターン像の位置ずれ量との関係が変化し、照明光の傾きを検出することができなくなってしまう。

【0053】したがって、結像光学系の開口で回折光の

\*【0047】半導体ウェハなどでは、エッチングによりパターンを所定の深さで掘り込むことにより、段差パターンを形成することができる。段差パターンでは、掘り込み部と残し部との間の段差が、光の位相差を生じさせることになる。本実施形態のように反射照明の場合には段差が往復で影響するので、付与される位相差  $\phi$  は、段差を  $t$  とし、照明光の波長を  $\lambda$  としたとき、次の式(9)で表される。

$$\phi = 4\pi t / \lambda \quad (9)$$

10 【0048】ここで、掘り込み部の幅がピッチ  $P$  の  $d$  倍であるとき、 $n$ 次回折光の強度  $I_n$  は、次の式(10)で表される。

\*

端がけられたりけられなかったりすることがないように、 $m$ および  $n$  を整数として、次の式(12)に示す関係を満たす必要がある。また、式(12)は、次の式(13)のように変形することができる。

$$m\lambda/P + s < u < n\lambda/P - s \quad (12)$$

$$(u+s)/n < \lambda/P < (u-s)/m \quad (13)$$

20 【0054】図8は、変形例にかかる回折格子パターンを結像光学系に対してデフォーカスさせたときのパターン像の位置ずれを示す図である。図8において、横軸はデフォーカス量を示し、縦軸はパターン像の位置ずれ量を示している。また、図中実線は照明光の波長  $\lambda$  の  $1/4$  の2倍(偶数倍)の段差  $\lambda/2$  を有する第1段差パターンを示し、図中破線は波長  $\lambda$  の  $1/4$  の1倍(奇数倍)の段差  $\lambda/4$  を有する第2段差パターンを示している。なお、各段差パターンは同じピッチを有し、ライン部の幅とスペース部の幅が等しく設定されている。

30 【0055】図8では、照明光の波長  $\lambda$  を  $0.656 \mu\text{m}$  とし、結像開口数  $u$  を0.5とし、照明開口数  $s$  を0.27とし、照明光束の傾きを  $5 \text{ mrad}$  ( $5 \times 10^{-3} \text{ rad}$ ) としている。この場合、式(12)および(13)において  $m=1$  および  $n=5$  で、1次回折光と5次回折光とが結像開口絞り9でけられない状態になっている。なお、ライン部の幅とスペース部の幅が等しく設定されているので、2次回折光および4次回折光の強度は0となり結像に関与しない。また、3次回折光は、照明光束の傾きによって結像開口絞り9でけられる状態になっている。

40 【0056】図8を参照すると、照明光の波長  $\lambda$  の  $1/4$  の2倍(偶数倍)の段差  $\lambda/2$  を有する第1段差パターンと波長  $\lambda$  の  $1/4$  の1倍(奇数倍)の段差  $\lambda/4$  を有する第2段差パターンとを同じ量だけデフォーカスさせた場合、第1段差パターン像の位置ずれ量はほとんど発生することなく、第2段差パターン像の位置ずれ量は比較的大きく発生することがわかる。すなわち、第1段差パターンはデフォーカスに鈍感であり、第2段差パターンはデフォーカスに敏感である。



【0057】なお、照射光の入射角が傾くと、パターンの位置によって入射光の位相差が生じる。このため、パターンエッジでの位相差が変化したように見えしまい、ウェハ面が結像光学系に対して合焦状態にあってもパターン像がずれて見えてしまう。ところが、上述の2つの位相差では  $1 - \cos \phi$  が極値に対して対称になっているので、像ずれが生じない。図9は、ウェハ面が結像光学系に対して合焦状態にある場合に、特定の2つの位相差では像ずれが生じないことを示す図である。

【0058】図9では、横軸に段差パターンの段差を示し、縦軸にパターン像の位置ずれ量を示している。また、図9では、照明光の波長  $\lambda$  を  $0.656 \mu\text{m}$  とし、結像開口数  $u$  を  $0.5$  とし、照明開口数  $s$  を  $0.27$  とし、照明光束の傾きを  $5\text{mrad}$  ( $5 \times 10^{-3} \text{rad}$ ) とし、段差パターンが結像光学系に対して合焦状態にありデフォーカス量を  $0$  としている。さらに、段差パターンは、ライン部の幅とスペース部の幅が等しく設定され、 $3.936 \mu\text{m}$  のピッチを有する。

【0059】図9を参照すると、段差パターンが結像光学系に対して合焦状態にありデフォーカス量が  $0$  であるにもかかわらず、段差が  $\lambda/4$  または  $\lambda/2$  でないとき、すなわち位相差が  $\pi$  または  $2\pi$  でないときには、像の位置ずれが発生することがわかる。ちなみに、図10は、図8の第2段差パターンに対応する図であって、照明光束の傾きとパターン像の位置ずれ量とデフォーカス量との関係を示す図である。

【0060】図10において、縦軸にパターン像の位置ずれ量を示し、一方の横軸に照明光束の傾きを示し、他方の横軸にデフォーカス量を示している。また、図10では、照明光の波長  $\lambda$  を  $0.656 \mu\text{m}$  とし、結像開口数  $u$  を  $0.5$  とし、照明開口数  $s$  を  $0.27$  としている。さらに、段差パターンは、ライン部の幅とスペース部の幅が等しく設定され、 $3.936 \mu\text{m}$  のピッチを有し、段差が  $0.164 \mu\text{m}$  (波長  $\lambda$  の  $1/4$  に相当) に設定されている。すなわち、図10の段差パターンは、図8の第2段差パターンに対応している。図10を参照すると、第2段差パターンは照明光束の傾きおよびデフォーカスに敏感であることがわかる。

【0061】そこで、変形例では、照明開口絞り4の偏心およびデフォーカスに鈍感な第1段差パターンと、照明開口絞り4の偏心およびデフォーカスに敏感な第2段差パターンとを、同一の検出視野内に入るようにウェハW上に並列的に設けている。図11は、本実施形態の変形例において照明光束のテレセントリシティの調整に用いられる調整用マークの構成を概略的に示す図である。図11に示すように、変形例の調整用マークは、第1の段差を有する第1段差パターンで形成された第1調整用マーク23と、第1段差パターンと同じピッチを有し且つ第1の段差とは実質的に異なる第2の段差を有する第2段差パターンで形成された第2調整用マーク24とか

ら構成されている。

【0062】ここで、第1段差パターンおよび第2段差パターンは、ライン部の幅とスペース部の幅とがほぼ等しく構成されている。また、第1調整用マーク23の段差は、照明光の波長  $\lambda$  の  $1/4$  の2倍(偶数倍)すなわち  $\lambda/2$  に設定されている。一方、第2調整用マーク24の段差は、照明光の波長  $\lambda$  の  $1/4$  の1倍(奇数倍)すなわち  $\lambda/4$  に設定されている。

【0063】こうして、本実施形態の変形例においても、照明光束の傾きおよびデフォーカスに対して鈍感な第1調整用マーク23と敏感な第2調整用マーク24とを結像光学系に対してデフォーカスさせた状態で像の相対ずれ量を検出し、得られた相対ずれ量とデフォーカス量との関係に基づいて照明光束の傾きを高精度に検出することができる。したがって、検出した照明光束の傾きに応じて、照明開口絞り4を光軸に直交する面に沿って所定距離だけ手動で(あるいは自動制御で)微動させることにより、照明光束のテレセントリシティを高精度に調整することができる。

【0064】なお、変形例では、第1段差パターンのピッチと第2段差パターンのピッチとが等しい。このため、2つの調整用マークの中心位置をピッチ方向に一致させる必要のある上述の実施形態とは異なり、2つの調整用マークの基準位置を定める必要がない。したがって、2つの調整用マークが検出視野内に入った状態で相対ずれ量を計測することができ、2つの調整用マークの基準位置を検出視野内に入れる操作が不要になり、作業性の向上を期待することができる。

【0065】なお、上述の実施形態およびその変形例では、位置合わせマークの位置を検出する位置検出装置に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、重ね合わせマークの位置を検出してマークの重ね合わせを検査する重ね合わせ検査装置に本発明を適用することもできる。したがって、本発明における位置検出装置は、いわゆる重ね合わせ検査装置をも含む広い概念である。

【0066】また、上述の実施形態およびその変形例では、露光装置に搭載された位置検出装置に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、一般的な位置検出装置に本発明を適用することができる。

【0067】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、照明光束の傾きおよびデフォーカスに対して敏感な調整用マークと鈍感な調整用マークとが同一の検出視野内に入るように設定し、結像光学系に対してデフォーカスさせた状態で一對の調整用マーク像の相対ずれ量を検出し、検出した相対ずれ量とデフォーカス量との関係に基づいて照明光束の傾きを検出する。したがって、デフォーカス操作に際して被検物体の移動誤差などの影響を受けることなく照明光束の傾きを高精度に検出し、照明光束のテ

15

レセントリシティの調整を高精度に行って、高精度な位置検出を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態にかかる位置検出装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】照明系中の照明開口絞りが光軸から偏心した状態を説明する図である。

【図3】ウェハ上に設けられた回折格子状のパターンが対物レンズの焦点面からわずかに下方にデフォーカスした場合の回折光の様子を示す図である。

【図4】ウェハ上に設けられた回折格子状のパターンが対物レンズの焦点面からわずかに下方にデフォーカスした場合の回折光の様子を示す図である。

【図5】図3の設定において回折格子パターンを結像光学系に対してデフォーカスさせたときのパターン像の位置ずれを示す図である。

【図6】図4の設定において回折格子パターンを結像光学系に対してデフォーカスさせたときのパターン像の位置ずれを示す図である。

【図7】本実施形態において照明光束のテレセントリシティの調整に用いられる調整用マークの構成を概略的に示す図である。

【図8】変形例にかかる回折格子パターンを結像光学系に対してデフォーカスさせたときのパターン像の位置ずれを示す図である。

16

【図9】ウェハ面が結像光学系に対して合焦状態にある場合に、特定の2つの位相差では像ずれが生じないことを示す図である。

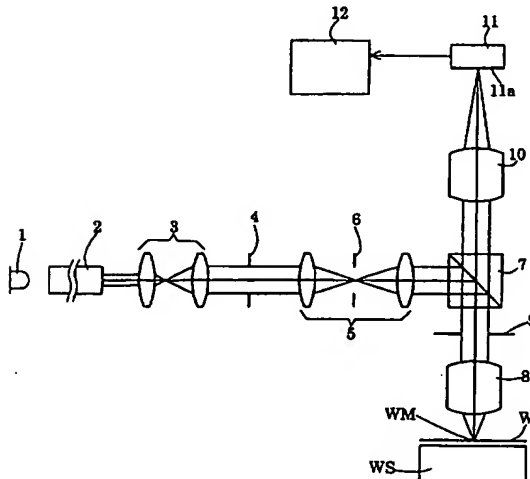
【図10】図8の第2段差パターンに対応する図であって、照明光束の傾きとパターン像の位置ずれ量とデフォーカス量との関係を示す図である。

【図11】本実施形態の変形例において照明光束のテレセントリシティの調整に用いられる調整用マークの構成を概略的に示す図である。

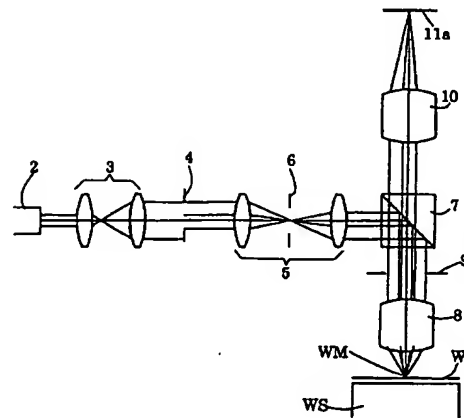
10 【符号の説明】

- 1 光源
- 2 ライトガイド
- 3 第1照明リレーレンズ系
- 4 照明開口絞り
- 5 第2照明リレーレンズ系
- 6 照明視野絞り
- 7 ハーフプリズム
- 8 対物レンズ
- 9 結像開口絞り
- 10 結像レンズ
- 11 撮像素子(CCD)
- 12 信号処理系
- W ウェハ
- WS ウェハステージ
- WM ウェハマーク

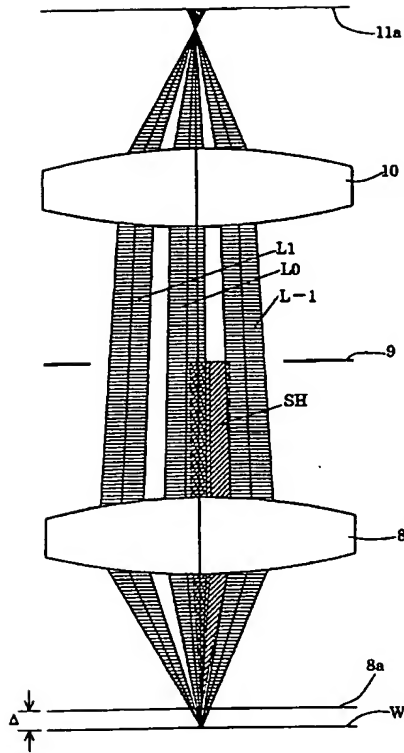
【図1】



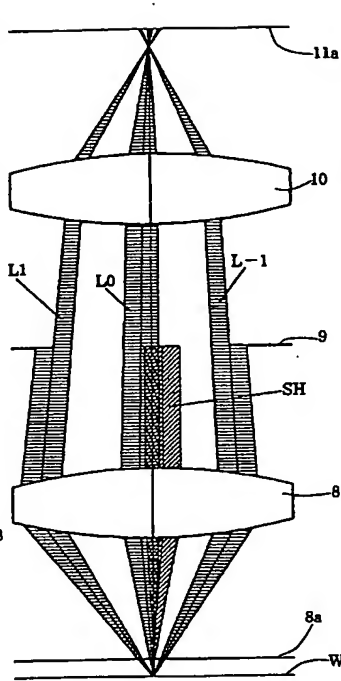
【図2】



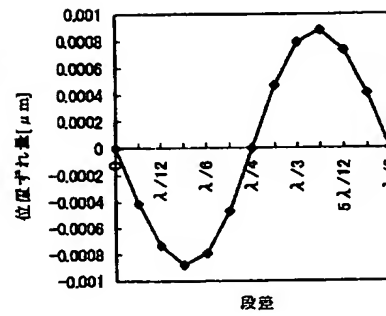
【図3】



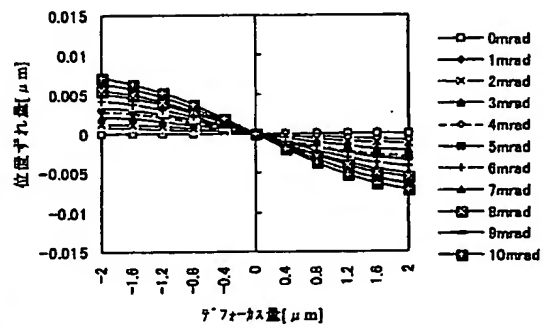
【図4】



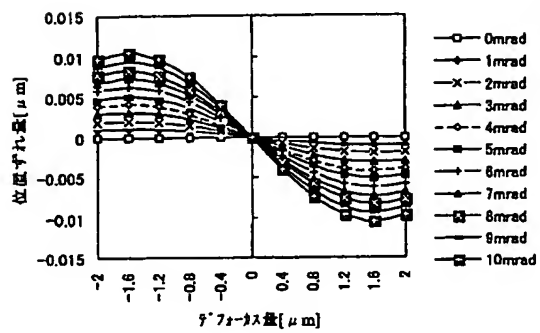
【図9】



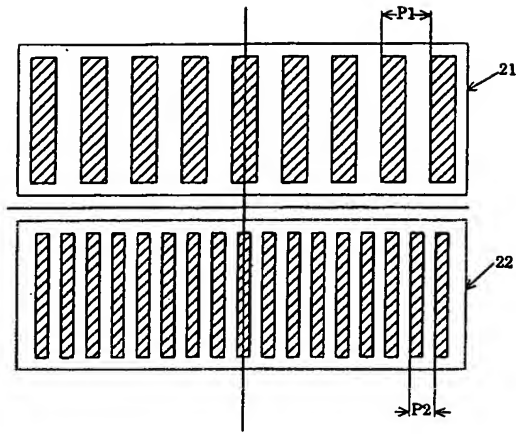
【図6】



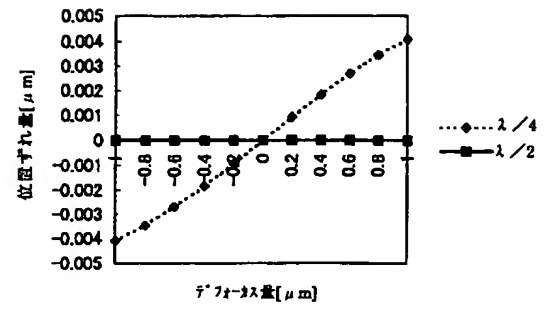
【図5】



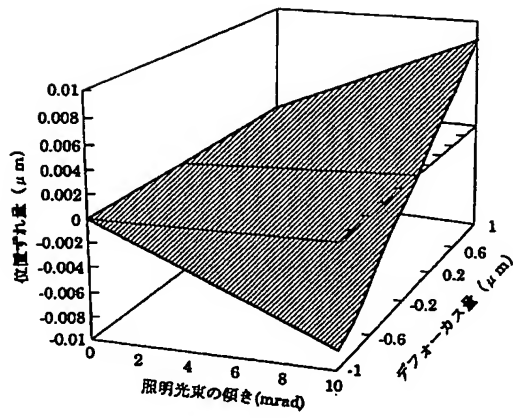
【図7】



【図8】



【図10】



【図11】

